

Estudio de modificación de un remolcador tipo TractorTug azimuth para transformarlo en una plataforma generadora autopropulsada

Trabajo Final de Máster



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Pedro Bailón Díaz

Dirigido por:

Ramón Grau Mur

Máster en Gestión y Operación de Instalaciones Energéticas
Marítimas

Barcelona, 10 de febrero de 2018

Departamento de Ciencia e ingeniería náutica



Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a mi director de proyecto Sr. Ramón Grau Mur por todas las horas invertidas en mí, por su interés, por todo lo que me ha ayudado en cada momento y por su gran paciencia. También quiero agradecer a toda mi familia la implicación, no tan solo reflejada en ayuda en el trabajo si no en el apoyo y confianza que me han dado durante la realización de éste. Por último, me gustaría agradecer toda la ayuda de mi otra gran familia, la del embarque en el Salvador Dalí donde tanto capitanes, como marineros, como jefes de máquinas me han ayudado a apreciar más aún mi pasión por el mar. Gracias a mis compañeros en la sala de máquinas he podido comprender mucho mejor el proyecto y su dimensionamiento.



Abstract

El objetivo de la transformación del remolcador azimutal, es el de lograr que sin una gran modificación a la instalación consiga ser un grupo electrogeno móvil que alimente a poblaciones en caso de necesidad y que a su vez no pierda la capacidad de remolque. Para lograr este objetivo se estudiará a fondo la instalación y se buscará la mejor manera de realizarlo con el menor coste posible. Realizados los cambios se procederá a hacer varios cálculos con los nuevos parámetros para ofrecer la mayor cantidad de kW a la red posible. Se ha llegado a la conclusión que este tipo de proyecto es posible, pero por desgracia hay que tener en cuenta que aun que se avance mucho en el mundo marino aún vamos muy atrasados respecto a otros sectores. Pese a todo el fin del proyecto es el de abrir las mentes para avanzar en la consecución de los nuevos barcos.



Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Objetivo.....	3
3.	Descripción del remolcador.....	5
3.1.	Características generales del Buque.....	5
3.2.	Sistemas de propulsión.....	6
3.3.	Motores principales.....	6
3.4.	Sistemas de arranque del motor principal.....	9
3.4.1.	Alternador.....	9
3.4.2.	Baterías.....	9
3.5.	Embragues.....	10
3.6.	Aquamasters.....	11
3.7.	Sistema de generación eléctrica.....	13
3.8.	Sistemas auxiliares.....	16
3.8.1.	Sistema de combustible.....	16
4.	Normativa.....	19
4.1.	Modificación de barcos (BOE-A-2000-21432).....	19
4.2.	Grupos electrógenos móviles.....	23
4.2.1.	ITC-BT-3.....	23
4.2.2.	ITC-BT-40.....	27
4.3.	Normativa eléctrica.....	40
5.	Propuesta.....	41
5.1.	Teórica.....	41
5.2.	Modificación de los motores.....	42
5.3.	Sustitución de embragues y línea de ejes.....	43
5.4.	Sistema eléctrico.....	45
5.5.	Balance energético.....	46
5.6.	Práctica.....	52
5.6.1.	Alternadores.....	52
5.6.2.	Nuevos generadores en cubierta.....	54
5.6.3.	Combustible.....	57
5.6.4.	Transformador.....	59
5.6.5.	Motores eléctricos para las hélices y modificación del cuadro eléctrico.....	61
5.6.6.	Estación de bombeo.....	65

5.6.7.	Conexión a tierra	67
6.	Conclusiones	69
7.	Biografía.....	71

Tabla de figuras

Figura 1 Plano del remolcador.....	6
Figura 2 Motor principal.....	8
Figura 3 Motor principal.....	8
Figura 4 Motor principal.....	8
Figura 5 Baterías de los motores principales.....	9
Figura 6 Twin-disc.....	10
Figura 7 Twin-disc.....	11
Figura 8 Aquamaster.....	11
Figura 9 Aquamaster.....	12
Figura 10 Auxiliar/Generador.....	14
Figura 11 Auxiliar/Generador.....	15
Figura 12 Auxiliar/Generador.....	15
Figura 13 Arranque manual del Auxiliar/Generador.....	15
Figura 14 Depuradora.....	17
Figura 15 Reglamento Lloyd's.....	40
Figura 16 Situación de la modificación.....	44
Figura 17 Cuadro eléctrico actual.....	45
Figura 18 Nuevo generador.....	53
Figura 19 Nuevos grupos generadores.....	54
Figura 20 Situación de los nuevos generadores en cubierta.....	56
Figura 21 Sistema de combustible.....	58
Figura 22 Transformador para los sistemas de a bordo.....	60
Figura 23 Esquema del transformador.....	60
Figura 24 Motor Eléctrico.....	62
Figura 25 Situación de los motores eléctricos.....	64
Figura 26 Situación de la estación de bombeo.....	66



1. Introducción

Tras la realización de mis estudios náuticos y después de haber visto prácticamente todos los campos relacionados con éstos, en la asignatura del segundo cuatrimestre del máster de energías renovables, surgió tras una explicación de clase la gran problemática que tienen los pueblos costeros en España debido a la distribución radial eléctrica. Por ello y viendo que no solo por la gran afluencia de personas en las épocas calurosas del año si no también por culpa de desastres climatológicos, era necesario poder ofrecer una ayuda en cualquier momento.

Este trabajo se centra en la transformación de un remolcador tractor azimutal con el fin de lograr que éste siga realizando sus trabajos actuales y además puede trabajar como una central eléctrica flotante, a pequeña escala. Para ello me ciño a la normativa vigente y hago el estudio con todas las limitaciones del barco.

Este trabajo no se centra específicamente en un tema ya que se pueden sacar miles de trabajos de él, el fin que tiene es el de que pueda servir para futuros trabajos de final de máster y que a su vez sea a pequeña escala una idea rentable para las empresas de remolque.



2. Objetivo

Vista la gran problemática que tiene este país para el envío de electricidad a todos sus puntos debido a su distribución radial, la idea de este trabajo es lograr llegar a todos esos lugares que en momentos puntuales están faltos de electricidad debido a la gran demanda o a condiciones excepcionales.

Para lograr cubrir la demanda este trabajo se va a centrar en la transformación de un remolcador para que este sin perder su capacidad de remolque pueda hacer de generador flotante y subsanar todos los problemas que sufran las poblaciones con la electricidad.

En el desarrollo experimental se intentará ajustarse a la realidad en cuanto a presupuesto y gasto, modificar lo menos posible el barco y que contamine lo menos posible el medio ambiente.



3. Descripción del remolcador

3.1. Características generales del Buque

Ítem	Especificación
Nombre	Salvador Dalí
Lista - Folio	1ª- 2/2005
MM/PP	Caterpillar
B.H.P.	2 x 2536.4
R.P.M.	1600
Auxiliar 1	Guascor H66T-SG
Generador 1	Leroy - Somer
Auxiliar 2	Guascor H66T-SG
Generador 2	Leroy - Somer
Tiro	74.5
Maquinilla	Bi - kateak 135 t
Cable	50 + 120 m
Indicativo	EATX
Eslora total	28
Manga	15.25 m
Puntal	3.30 m
Calado Medio	3.30 m
Capacidad G.O.	68 m ³
Capacidad Agua	4.62 m ³
Capacidad Aceite	4.5 m ³
Bombas de lastre	2
Marca	Itur Ilcs - 50/20
Potencia	14.5 kW/ 2905 r.p.m
Bombas C.I.	Fi Fi 2700 m ³ /h
Puerto de matricula	Barcelona
G.T.	324 T
R.N.	97
Construido	Zamacona
Año	2005
Anclas	1
Cadena	137.5 m
Compresores	1
Marca	Sperre LL2/77
Potencia	5.5 kW/ 1425 r.p.m.
Presión	8 bar
Monitores	ffs

3.2. Sistemas de propulsión

En el Salvador Dalí la propulsión se reparte en tres secciones, el motor principal, el embrague y la hélice rotatoria. Este remolcador está equipado con un sistema conocido como "Asymmetric Tractor Tug", que quiere decir propulsor azimuthal asimétrico, se compone de dos motores principales, dos embragues y dos hélices rotatorias, colocados uno a babor de popa y el otro a estribor de proa, proporcionando al barco una mayor maniobrabilidad.

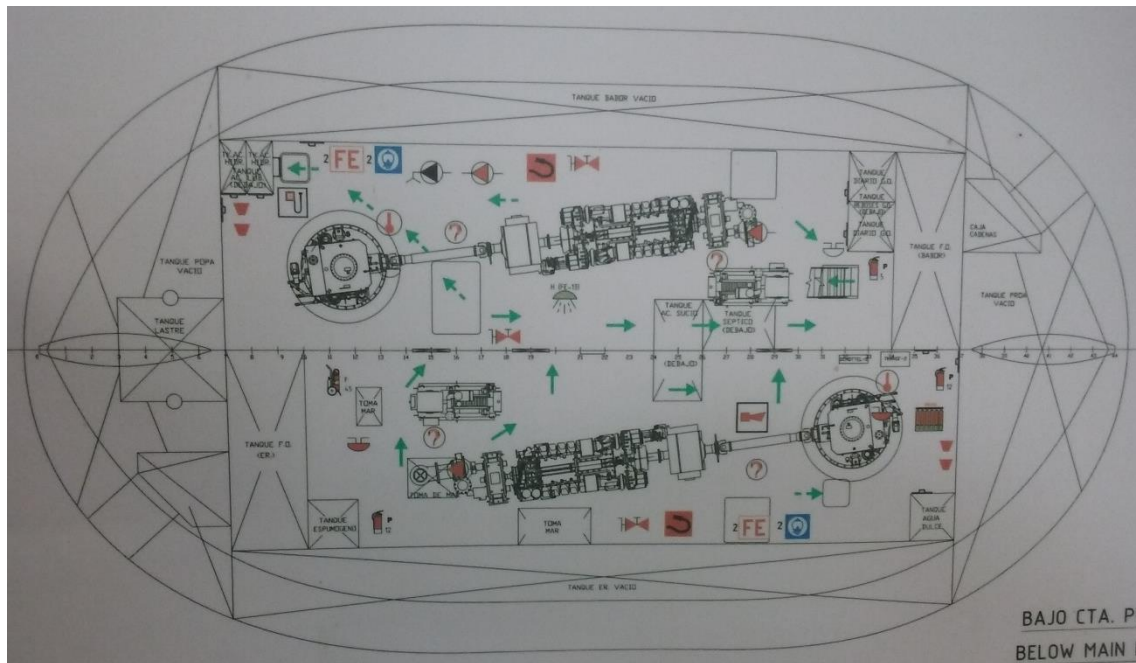


Figura 1 Plano del remolcador

3.3. Motores principales

El barco está equipado con dos motores diésel de cuatro tiempos de la marca Caterpillar, de 16 cilindros en V montados uno a cada costado del éste, el que está situado a estribor mueve la hélice de proa y el que está situado a babor la de popa. La inyección es directa, están refrigerados por líquido refrigerante y sobrealimentados por turbocompresores.

Ítem	Especificación
Modelo	Caterpillar 3516B
Velocidad nominal (rpm)	600
Velocidad en vacío (rpm)	600
Cilindros y configuración	V 16 de 60 grados
Calibre	170 mm (6.7 pulg)
Carrera	190 mm (7.5 pulg)
Tipo	4 tiempos
Relación de compresión	14:1
Aspiración	Turbocompresión
Método de enfriar el aire de turbocompresión	Posenfriamiento con agua de las camisas
Cilindrada por cilindro	Posenfriamiento de circuito separado
Cilindrada por cilindro	4.3 L (263 pulg ³)
Cilindrada total	69.1 L (4210 pulg ³)
Rotación Volante	Rotación hacia la izquierda (estándar)
Combustible	Gasoil
Método de inyección de combustible	Injectores de combustible electrónico
Método de arranque	Motor de arranque eléctrico
Contrapresión diseñada en el sistema de escape	Motor de arranque neumático
Contrapresión diseñada en el sistema de escape	2.5 kPa (10 pulg de H ₂ O)
Máxima presión permisible de escape	5.0 kPa (20 pulg de H ₂ O)
Máxima restricción del aire de admisión	6.2 kPa (25 pulg de H ₂ O)
Filtros de aire	Elemento sencillo
Juego de válvulas de admisión	Elemento Doble
Juego de válvulas de admisión	0.50 mm (0.020 pulg)
Juego de las válvulas de escape	1.00 mm (0.040 pulg)



Figura 2 Motor principal

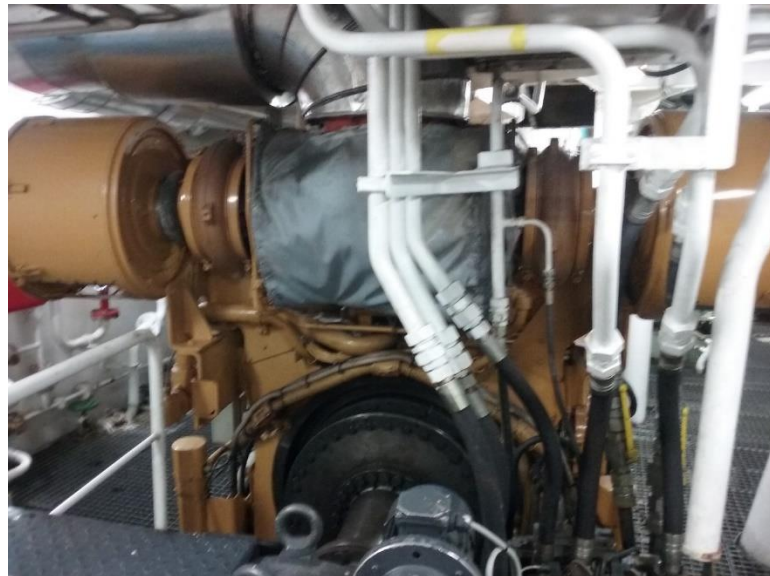


Figura 3 Motor principal



Figura 4 Motor principal

3.4. Sistemas de arranque del motor principal

Mientras el Salvador Dalí está en la base se encuentra conectado a la red trifásica de tierra. Cuando se levanta la planta se puede hacer manualmente o remotamente, de las dos maneras hay que esperar que sincronice o tirar la conexión a tierra para sincronizarlo más rápido, se pueden arrancar indistintamente cualquiera de los dos auxiliares de los que dispone el barco cuando hablamos del arranque remoto, evidentemente haciendo todas las conexiones previas antes de ello, y solo se puede arrancar manualmente el auxiliar de proa.

3.4.1. Alternador

Una vez levantada la planta y con electricidad ya en el alternador damos paso a través del cuadro principal del motor al arranque principal que es igual en las baterías, encendiendo la bomba de pre lubricación y el motor de arranque.

3.4.2. Baterías

Si por algún tipo de contratiempo no pudiéramos levantar la planta ya sea por el fallo de los auxiliares o imposibilidad temporal de estos tenemos dos grupos de baterías de 24V para poder encender los dos motores.



Figura 5 Baterías de los motores principales

3.5. Embragues

Ítem	Especificación
Marca	TWIN DISC
Modelo	3000 -7- HD
Nº Serie	5KM 181
Capacidad de aceite	316 litros
Presión principal	29,3 bar
Presión de control	1,6 - 27,2 bar
Tª trabajo	75 - 85°C
Tª máxima	100°C
Velocidad mínima sin engranar	710 rpm
Relación de transmisión	1:1,1 o 1,3

El sistema de embrague que utiliza el Salvador Dalí es el twin-disc o MCD transmite el movimiento provocado por el motor en el eje y de éste a la hélice. Su función es embragar y desembragar para poder transmitir el movimiento ya nombrado regulando las revoluciones. Consta de una serie de discos con la función de comprimirse o descomprimirse delante de la demanda de revoluciones, es decir que a cuantas más revoluciones más se comprime. Están separados por una película de aceite y cuando ésta aumenta debido a la compresión de los discos, hace que poco a poco se igualen las vueltas del motor con las que transmite a la hélice. Para regular la presión de aceite utilizamos una bomba hidráulica de tal manera que dependiendo de la demanda se pueda aplicar o desaplicar esta presión, haciendo que se junten o se separen los discos y aumentando o disminuyendo las revoluciones.



Figura 6 Twin-disc

Por la geometría de los discos estos nunca se tocan, debido a la pequeña capa de aceite que hay entre ellos, pese a estar

desembragados como siempre hay un poco de rozamiento entre los discos siempre hay movimiento del eje hasta la hélice.

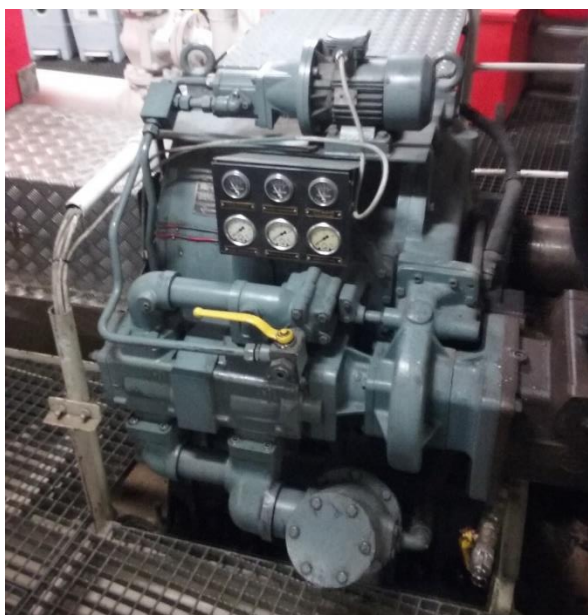


Figura 7 Twin-disc

3.6. Aquamasters

Los aquamasters son los encargados de transmitir el movimiento del eje que viene de los twin-disc a la hélice y de rotar la hélice 360 grados, dotando de total movimiento al barco. Están por duplicado al tener dos propulsores.



Figura 8 Aquamaster

Se componen de una rueda dentada que proporciona a la hélice el giro completo mediante tres bombas hidráulicas que se mueven con aceite a presión que viene de una bomba que esta acoplada al eje a través del twin-disc y que dependiendo de la demanda del puente para la

dirección aplicarán más o menos presión al aceite y dará ésta a la hélice.



Figura 9 Aquamaster

3.7. Sistema de generación eléctrica

Este generador es de la marca LEROY SOMER y el modelo LSA 44.2 M95 y en el buque donde va instalado lo regula las normas de la sociedad de clasificación Lloyd's Register.

Especificación	Dato
Tensión nominal (V) (especificaciones del generador)	400V (Entrada 0-380V)
Frecuencia nominal (Hz) (especificaciones del generador)	50 Hz
Eficiencia (η%) (especificaciones del generador)	95.3 %
Factor de potencia (fp) (especificaciones del generador)	0.8
Tipo generador (especificaciones del generador)	F
Temperatura máxima (°C) (especificaciones del generador)	100°C
Número de polos (especificaciones del generador)	Cuatro
Potencia aparente (especificaciones del generador)	135 kVA
Corriente nominal (A) (especificaciones del generador)	$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} = 195 (A)$
Corriente máxima de sobre carga -veces x la nominal (A) (criterio SSCC)	La corriente máxima de sobrecarga es 1.5 veces la nominal. Parte 6 capitulo 2 apartado 9.5.1
Corriente máxima de cortocircuito - veces x la nominal (A) (criterio SSCC)	Al menos tres veces la corriente nominal de carga completa durante al menos dos segundos. Parte 6 capitulo 2 apartado 9.4.5 585 (A)

El remolcador Salvador Dalí dispone de dos motores auxiliares conectados cada uno a un alternador, los cuales aportan la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de todos los sistemas de los que dispone el remolcador cuando no está conectado a tierra. Están colocados uno a cada banda del buque, disponen de dos alarmas para la seguridad de estos



Figura 10 Auxiliar/Generador

motores auxiliares, una de alta temperatura de agua refrigerante y la otra de baja presión de aceite y tiene la posibilidad de arrancar de tres maneras, mediante baterías, mediante corriente eléctrica de tierra o mediante arranque manual como enseña la última foto. Se mueven mediante gasoil y utilizan un turbo compresor para mejorar su movimiento.

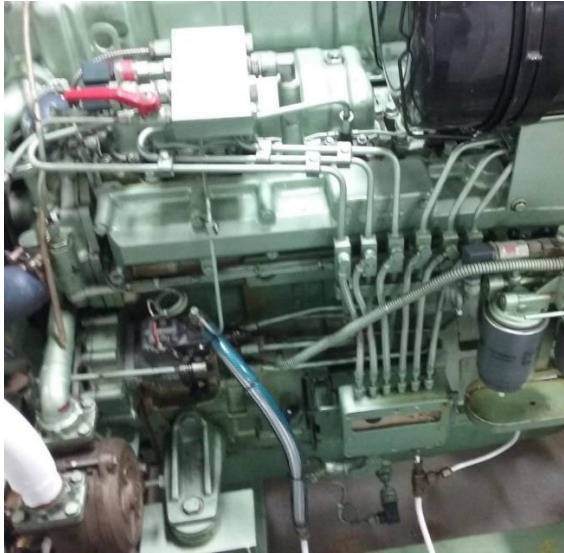


Figura 11 Auxiliar/Generador



Figura 12 Auxiliar/Generador



Figura 13 Arranque manual del Auxiliar/Generador

3.8. Sistemas auxiliares

3.8.1. Sistema de combustible

El combustible utilizado a bordo es el gasoil, este proviene de un camión (cuba) al cual se avisa cuando quedan 30 m³ o menos de combustible entre todos los tanques del buque. La capacidad máxima del buque son 68 m³.

El combustible entra en el remolcador bombeado a través de una manguera que viene de la cuba por la toma de combustible, pasa por un filtro que elimina las impurezas, si se configura el plano de válvulas así, y va a los tanques almacén situados uno a proa y otro a popa. Si rebosara alguno de estos dos tanques o los dos, aparte de estar dotados de un sistema de alarmas para visar del rebose, hay un tanque de rebose conectado a estos para evitar derrames, el cual siempre se intenta tener vacío por precaución. Cuando los motores tanto auxiliares como principales consumen gasoil no lo hacen de los tanques almacén directamente si no de los tanques de diario, los cuales se llenan a través de una depuradora que centrifuga el combustible, para eliminar todas las impurezas de éste, proveniente de los tanques de almacén. Los tanques de diario también están provistos de un sistema de alarmas para evitar el rebose pese que como curiosidad cabe decir que en el Salvador Dalí estas están situadas a una altura muy baja y se suele llenar por encima de la alarma de alto nivel. Las características principales de la depuradora instalada a bordo, una alfalaval, son las siguientes:

Ítem	Especificación
Modelo	Alfalaval
Tipo	MAB 104 B 14/42
Nº Producto	881241-08-14/3
Año de fabricación	2008
Bastidor	549807-01/02/03/04
Rotor	524724 - 92/82
Máxima velocidad rotor	7500 / 7350 r.p.m.
Sentido del rotor	antihorario
Velocidad del eje del motor	1500 / 1800 r.p.m.
Frecuencia	50 / 60 Hz
Potencia del motor recomendada	1,1 / 1,5 kW
Máxima densidad de alimentación	1100 kg/m ³
Máxima densidad de sedimentación	1600 kg/m ³
T ^a del proceso mínima	0 °C
T ^a del proceso máxima	100 °C

El combustible no separado alimenta el rotor a través de una cañería de entrada y se bombea por el distribuidor hasta la periferia del rotor, cuando el combustible llega a los orificios del distribuidor se eleva mediante los canales formados por el paquete de discos donde se distribuye uniformemente. De esta manera el combustible se limpia continuamente a medida que fluye hasta el centro del rotor, una vez limpio abandona el paquete de discos, sube hasta arriba y abandona el rotor a través de la salida. La parte pesada o combustible sucio con partículas de lodos que se han separado mediante la centrifugación son forzados hasta la periferia del rotor donde se recoge en un espacio utilizado para ello. Debido a los posos de suciedad que se forman la depuradora es limpiado con regularidad, una vez limpiada se le hace un sello hidráulico mediante una pequeña tubería de agua. Se acciona mediante un motor eléctrico y el paso de combustible se regula



Figura 14 Depuradora

mediante una válvula manual de manera que el combustible entre en la depuradora a 2,4 Bar de presión. Hay un sistema optativo para mantener esta presión mediante aire comprimido.

4. Normativa

4.1. Modificación de barcos (BOE-A-2000-21432)

En este apartado se buscará toda la normativa relacionada con la modificación de buques españoles, aunque estos sigan destinados a la misma operativa y busquen ampliar su abanico de negocio.

En el BOE-A-2000-21432, concretamente en el capítulo VI del Título II ("De la actividad inspectora") establece las reglas y principios rectores de la función inspectora, sus formas de iniciación y finalización, las actividades de inspección a mantener durante el proceso de construcción de un buque, su transformación, reparación, reforma o modificación, y durante su servicio, así como los principios generales de la aprobación y homologación de aparatos, elementos, materiales y equipos que han de ir instalados a bordo de buques de pabellón español.

Según el Artículo 38. Inspección y control de las transformaciones, reformas y grandes reparaciones de buques de pabellón español.

1. La transformación, reforma o gran reparación de un buque de pabellón español requerirá la autorización previa del proyecto por parte del Director general de la Marina Mercante, con objeto de verificar el cumplimiento de dicho proyecto con la normativa nacional o internacional aplicable, de acuerdo con las características del buque y con el fin al que está destinado, en materia de seguridad marítima y prevención de la contaminación del medio ambiente marino.

En el caso de que la transformación o reforma de un buque se realice en diferentes lugares, cada una de las partes del buque o de las fases de la transformación o reforma, requerirán una autorización específica de conformidad con lo dispuesto en este artículo.

2. Si la transformación, reforma o reparación va ser realizada en territorio español, la solicitud será presentada por el astillero o taller encargado de los trabajos y por el operador o empresa operadora del buque, en la Capitanía Marítima en cuyo ámbito geográfico radique el astillero o taller. Si va a ser realizada en el extranjero, será presentada por el operador o empresa operadora ante la Dirección General de la Marina Mercante.
3. Las solicitudes serán dirigidas al Director general de la Marina Mercante e irán acompañadas del proyecto de transformación, reforma o reparación del buque, integrado por el conjunto de las especificaciones, cálculos, planos, justificaciones, presupuestos y demás documentos técnicos que definan y determinen las exigencias técnicas de las obras. El proyecto deberá incluir toda la documentación específica que determine la normativa en vigor y justificar técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las disposiciones requeridas por la normativa técnica aplicable en materia de seguridad marítima y prevención de la contaminación del medio ambiente marino.
4. El proyecto será redactado y suscrito por técnico titulado competente, que reúna las condiciones exigibles para el ejercicio de su profesión, y visado por el Colegio Oficial al que pertenezca.

5. Cuando la normativa aplicable requiera que, con antelación a la autorización del proyecto de transformación, reforma o reparación de buques pesqueros, sea emitido un informe del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación o de la Comunidad Autónoma correspondiente con competencia en la materia, no se otorgará la autorización del proyecto sin que dicho trámite haya sido realizado.
6. El expediente será resuelto en un plazo máximo de seis meses notificándose la resolución a los interesados según lo dispuesto en la LRJPAC.
En lo no previsto en este artículo, se estará a lo dispuesto en el artículo 23 si las actuaciones son en territorio español y en el 32 si son en el extranjero.
7. La modificación de las solicitudes de autorización de las transformaciones, reformas o reparaciones de buques, así como de los proyectos o documentación técnica correspondiente, se realizará de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 24.
8. Otorgada la autorización, se designará un director de obra y a un director de la ejecución de la obra, según lo dispuesto en el artículo 26.
También será de aplicación, si procede, lo dispuesto en los artículos 30 y 31, relativos a la inspección y control de botaduras y a la realización de pruebas oficiales.
9. Las reparaciones de buques de pabellón español que se deban realizar en el extranjero, por averías, accidentes, u otras causas de siniestralidad que impidan al buque regresar a territorio español, seguirán lo previsto en el

artículo 39, sobre inspección y reconocimiento de buques de pabellón español en puertos extranjeros.

10. Las transformaciones, reformas o reparaciones realizadas en buques o embarcaciones menores de 24 metros de eslora (L) podrán ser eximidas del procedimiento general de autorización regulado en este artículo, siempre que el Área de Inspección Marítima verifique que los cambios previstos en el buque o en la embarcación no incidan significativamente sobre las condiciones de seguridad marítima ni sobre la integridad del medio ambiente marino.

La solicitud de exención, junto con la documentación técnica que defina y determine las exigencias técnicas de la obra, será dirigida al Capitán Marítimo de la Capitanía de Primera en cuyo ámbito geográfico se vaya a realizar.

El Área de Inspección Marítima examinará la documentación técnica aportada y tras evaluar la influencia que los cambios previstos pueden tener en la seguridad marítima o en la integridad del medio ambiente marino, informará al Capitán Marítimo para que proceda a resolver la solicitud presentada.

Reconocida la exención, el Área de Inspección Marítima verificará que las obras se realizan de acuerdo con la normativa vigente y con la documentación técnica presentada. En caso de denegación de la solicitud de exención se procederá de acuerdo con el procedimiento de autorización previa regulado en este artículo para el resto de los buques.

4.2. Grupos electrógenos móviles

La normativa referente a este apartado viene regulada por el BOE 842/2002 y concretamente por el reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias. Dentro de este capítulo quien lo regula son las instrucciones técnicas complementarias ITC-BT-33 y la ITC-BT-40.

4.2.1. ITC-BT-3

• **Campo de aplicación**

Las prescripciones particulares de esta instrucción se aplican a las instalaciones temporales destinadas:

- a la construcción de nuevos edificios
- a trabajos de reparación, modificación, extensión o demolición de edificios existentes
- a trabajos públicos
- a trabajos de excavación, y
- a trabajos similares.

En los locales de servicios de las obras (oficinas, vestuarios, salas de reunión, restaurantes, dormitorios, locales sanitarios, etc.) serán aplicables las prescripciones técnicas recogidas en la ITC-BT-24.

En las instalaciones de obras, las instalaciones fijas están limitadas al conjunto que comprende el cuadro general de mando y los dispositivos de protección principales.

En este caso la aplicación sería para trabajos públicos.

• **Características generales, alimentación**

Toda instalación deberá estar identificada según la fuente que la alimente y sólo debe incluir elementos alimentados

por ella, excepto circuitos de alimentación complementaria de señalización o control.

Las distintas alimentaciones deben ser conectadas mediante dispositivos diseñados de modo que impidan la interconexión entre ellas.

- **Instalaciones de seguridad**

Cuando debido al posible fallo de la alimentación normal de un circuito o aparato existan riesgos para la seguridad de las personas, deberán preverse instalaciones de seguridad.

- Alumbrado de seguridad

Según el tipo de obra o la reglamentación existente, el alumbrado de seguridad permitirá, en caso de fallo del alumbrado normal, la evacuación del personal y la puesta en marcha de las medidas de seguridad previstas.

- Otros circuitos de seguridad

Otros circuitos como los que alimentan bombas de elevación, ventiladores y elevadores o montacargas para personas, cuya continuidad de servicio sea esencial, deberán preverse de tal forma que la protección contra los contactos indirectos quede asegurada sin corte automático de la alimentación. Dichos circuitos estarán alimentados por un sistema automático con corte breve que podrá ser de uno de los tipos siguientes:

- Grupos generadores con motores térmicos, o
- Baterías de acumuladores asociadas a un rectificador o un ondulator.

- **Protección contra choques eléctricos**

Las medidas generales para la protección contra los choques eléctricos serán las indicadas en la ITC-BT-24, teniendo en cuenta lo indicado a continuación:

➤ Medidas de protección contra contactos directos

Las medidas de protección contra los contactos directos serán preferentemente:

- Protección por aislamiento de partes activas
- Protección por medio de barreras o envolventes.

➤ Medidas de protección contra contactos indirectos

Además de las medidas generales señaladas en la ITC-BT-24, serán aplicables las siguientes:

Cuando la protección de las personas contra los contactos indirectos está asegurada por corte automático de la alimentación, según esquema de alimentación TT, la tensión límite convencional no debe ser superior a 24 V de valor eficaz en corriente alterna, ó 60 V en corriente continua.

Cada base o grupo de bases de toma de corriente deben estar protegidas por dispositivos diferenciales de corriente diferencial residual asignada igual como máximo a 30 mA; o bien alimentadas a muy baja tensión de seguridad MBTS; o bien protegidas por separación eléctrica de los circuitos mediante un transformador individual.

• **Elección e instalación de los equipos**

➤ Reglas comunes

Todos los conjuntos de aparataje empleados en las instalaciones de obras deben cumplir las prescripciones de la norma UNE-EN 60.439-4.

Las envolventes, aparataje, las tomas de corriente y los elementos de la instalación que estén a la intemperie, deberán tener como mínimo un grado de protección IP45, según UNE 20.324.

El resto de los equipos tendrán los grados de protección adecuados, según las influencias externas determinadas por las condiciones de instalación.

➤ Canalizaciones

Las canalizaciones deben estar dispuestas de manera que no se ejerza ningún esfuerzo sobre las conexiones de los cables, a menos que estén previstas especialmente a este efecto.

Con el fin de evitar el deterioro de los cables, éstos no deben estar tendidos en pasos para peatones o vehículos. Si tal tendido es necesario, debe disponerse protección especial contra los daños mecánicos y contra contactos con elementos de la construcción.

En caso de cables enterrados su instalación será conforme a lo indicado en ITC-BT-20 e ITC-BT-21.

El grado de protección mínimo suministrado por las canalizaciones será el siguiente:

Para tubos, según UNE-EN 50.086-1:

- Resistencia a la compresión "Muy Fuerte".
- Resistencia al impacto "Muy Fuerte"

Para otros tipos de canalización:

- Resistencia a la compresión y Resistencia al Impacto, equivalentes a las definidas para tubos.

➤ Cables eléctricos

Los cables a emplear en acometidas e instalaciones exteriores serán de tensión asignada mínima 450/750V, con cubierta de policloropreno o similar, según UNE 21.027 o UNE 21.150 y aptos para servicios móviles.

4.2.2. ITC-BT-40

• **Objeto y campo de aplicación**

La presente instrucción se aplica a las instalaciones generadoras, entendiendo como tales, las destinadas a transformar cualquier tipo de energía no eléctrica en energía eléctrica.

A los efectos de esta Instrucción se entiende por "Redes de Distribución Pública" a las redes eléctricas que pertenecen o son explotadas por empresas cuyo fin principal es la distribución de energía eléctrica para su venta a terceros. Asimismo, se entiende por "Autogenerador" a la empresa que, subsidiariamente a sus actividades principales, produce, individualmente o en común, la energía eléctrica destinada en su totalidad o en parte, a sus necesidades propias.

• **Clasificación**

Las Instalaciones Generadoras se clasifican, atendiendo a su funcionamiento respecto a la Red de Distribución Pública, en:

a) Instalaciones generadoras aisladas: aquellas en las que no puede existir conexión eléctrica alguna con la Red de Distribución Pública.

b) Instalaciones generadoras asistidas: Aquellas en las que existe una conexión con la Red de Distribución Pública, pero sin que los generadores puedan estar trabajando en paralelo con ella. La fuente preferente de suministro podrá ser tanto los grupos generadores como la Red de Distribución Pública, quedando la otra fuente como socorro o apoyo. Para impedir la conexión simultánea de ambas, se deben instalar los correspondientes sistemas de conmutación. Será posible, no obstante, la realización de maniobras de transferencia de

carga sin corte, siempre que se cumplan los requisitos técnicos descritos en el apartado 4.2

c) Instalaciones generadoras interconectadas: Aquellas que están, normalmente, trabajando en paralelo con la Red de Distribución Pública.

- **Condiciones generales**

Los generadores y las instalaciones complementarias de las instalaciones generadoras, como los depósitos de combustibles, canalizaciones de líquidos o gases, etc., deberán cumplir, además, las disposiciones que establecen los Reglamentos y Directivas específicos que les sean aplicables.

Cuando las instalaciones generadoras estén alojadas en edificios o establecimientos industriales, sus locales, que serán de usos exclusivo, cumplirán con las disposiciones reguladoras de protección contra incendios correspondientes.

Los locales donde estén instalados los motores térmicos, cualquiera que sea su potencia, deberán estar suficientemente ventilados.

Los conductos de salida de los gases de combustión serán de material incombustible y evacuarán directamente al exterior o a través de un sistema de aprovechamiento energético.

- **Condiciones para la conexión**

- Instalaciones generadoras aisladas

La conexión a los receptores, en las instalaciones donde no pueda darse la posibilidad del acoplamiento con la Red de Distribución Pública o con otro generador, precisará la instalación de un dispositivo que permita conectar y desconectar la carga en los circuitos de salida del generador.

Cuando existan más de un generador y su conexión exija la sincronización, se deberá disponer de un equipo manual o automático para realizar dicha operación.

Los generadores portátiles deberán incorporar las protecciones generales contra sobreintensidades y contactos directos e indirectos necesarios para la instalación que alimenten.

➤ Instalaciones generadoras asistidas

En la instalación interior la alimentación alternativa (red o generador) podrá hacerse en varios puntos que irán provistos de un sistema de conmutación para todos los conductores activos y el neutro, que impida el acoplamiento simultáneo a ambas fuentes de alimentación.

En el caso en el que esté previsto realizar maniobras de transferencia de carga sin corte, la conexión de la instalación generadora asistida con la Red de Distribución Pública se hará en un punto único y deberán cumplirse los siguientes requisitos:

- Sólo podrán realizar maniobras de transferencia de carga sin corte los generadores de potencia superior a 100 kVA
- En el momento de interconexión entre el generador y la red de distribución pública, se desconectará el neutro del generador de tierra.
- El sistema de conmutación deberá instalarse junto a los aparatos de medida de la Red de Distribución pública, con accesibilidad para la empresa distribuidora.
- Deberá incluirse un sistema de protección que imposibilite el envío de potencia del generador a la red.
- Deberán incluirse sistemas de protección por tensión del generador fuera de límites, frecuencia fuera de límites, sobrecarga y cortocircuito, enclavamiento para no poder

energizar la línea sin tensión y protección por fuera de sincronismo.

- Dispondrá de un equipo de sincronización y no se podrá mantener la interconexión más de 5 segundos.

El conmutador llevará un contacto auxiliar que permita conectar a una tierra propia el neutro de la generación, en los casos que se prevea la transferencia de carga sin corte.

Los elementos de protección y sus conexiones al conmutador serán precintables o se garantizará mediante método alternativo que no se pueden modificar los parámetros de conmutación iniciales y la empresa distribuidora de energía eléctrica, deberá poder acceder de forma permanente a dicho elemento, en los casos en que se prevea la transferencia de carga sin corte. El dispositivo de maniobra del conmutador será accesible al Autogenerador.

➤ Instalaciones generadoras interconectadas

La potencia máxima de las centrales interconectadas a una Red de Distribución Pública, estará condicionada por las características de ésta: tensión de servicio, potencia de cortocircuito, capacidad de transporte de línea, potencia consumida en la red de baja tensión, etc.

➤ Potencias máximas de las centrales interconectadas en baja tensión

Con carácter general la interconexión de centrales generadoras a las redes de baja tensión de 3x400/230 V será admisible cuando la suma de las potencias nominales de los generadores no exceda de 100 kVA, ni de la mitad de la capacidad de la salida del centro de transformación correspondiente a la línea de la Red de Distribución Pública a la que se conecte la central.

En redes trifásicas a $3 \times 220/127$ V, se podrán conectar centrales de potencia total no superior a 60 kVA ni de la mitad de la capacidad de la salida del centro de transformación correspondiente a la línea de la Red de Distribución Pública a la que se conecte la central. En estos casos toda la instalación deberá estar preparada para un funcionamiento futuro a $3 \times 400/230$ V.

En los generadores eólicos, para evitar fluctuaciones en la red, la potencia de los generadores no será superior al 5% de la potencia de cortocircuito en el punto de conexión a la Red de Distribución Pública.

- Condiciones específicas para el arranque y acoplamiento de la instalación generadora a la red de distribución pública
 - Generadores asíncronos

La caída de tensión que puede producirse en la conexión de los generadores no será superior al 3 % de la tensión asignada de la red.

En el caso de generadores eólicos la frecuencia de las conexiones será como máximo de 3 por minuto, siendo el límite de la caída de tensión del 2 % de la tensión asignada durante 1 segundo.

Para limitar la intensidad en el momento de la conexión y las caídas de tensión, a los valores anteriormente indicados, se emplearán dispositivos adecuados.

La conexión de un generador asíncrono a la red no se realizará hasta que, accionados por la turbina o el motor, éste haya adquirido una velocidad entre el 90 y el 100% de la velocidad de sincronismo.

- Generadores síncronos

La utilización de generadores síncronos en instalaciones que deben interconectarse a Redes de Distribución Pública, deberá ser acordada con la empresa distribuidora de energía eléctrica, atendiendo a la necesidad de funcionamiento independiente de la red y a las condiciones de explotación de ésta. La central deberá poseer un equipo de sincronización, automático o manual.

Podrá prescindirse de este equipo si la conexión pudiera efectuarse como generador asíncrono. En este caso las características del arranque deberán cumplir lo indicado para este tipo de generadores.

La conexión de la central a la red de distribución pública deberá efectuarse cuando en la operación de sincronización las diferencias entre las magnitudes eléctricas del generador y la red no sean superiores a las siguientes:

- Diferencia de tensiones $\pm 8 \%$
- Diferencia de frecuencia $\pm 0,1 \text{ Hz}$
- Diferencia de fase $\pm 10^\circ$

Los puntos donde no exista equipo de sincronismo y sea posible la puesta en paralelo, entre la generación y la Red de Distribución Pública, dispondrán de un enclavamiento que impida la puesta en paralelo.

- Equipos de maniobra y medida a disponer en el punto de interconexión

En el origen de la instalación interior y en un punto único y accesible de forma permanente a la empresa distribuidora de energía eléctrica, se instalará un interruptor automático sobre el que actuarán un conjunto de protecciones. Éstas deben garantizar que las faltas internas de la instalación no perturben el correcto funcionamiento de las redes a las que estén conectadas y en caso de defecto de éstas, debe desconectar el interruptor de la interconexión que no podrá

reponerse hasta que exista tensión estable en la Red de Distribución Pública.

Las protecciones y el conexionado del interruptor serán precintables y el dispositivo de maniobra será accesible al Autogenerador.

El interruptor de acoplamiento llevará un contacto auxiliar que permita desconectar el neutro de la red de distribución pública y conectar a tierra el neutro de la generación cuando ésta deba trabajar independiente de aquella.

Cuando se prevea la entrega de energía de la instalación generadora a la Red de Distribución Pública, se dispondrá, al final de la instalación de enlace, un equipo de medida que registre la energía suministrada por el Autogenerador. Este equipo de medida podrá tener elementos comunes con el equipo que registre la energía aportada por la Red de Distribución Pública, siempre que los registros de la energía en ambos sentidos se contabilicen de forma independiente.

Los elementos a disponer en el equipo de medida serán los que correspondan al tipo de discriminación horaria que se establezca.

En las instalaciones generadoras con generadores asíncronos se dispondrá siempre un contador que registre la energía reactiva absorbida por éste.

Cuando deba verificarse el cumplimiento de programas de entrega de energía tendrán que disponerse los elementos de medida o registro necesarios.

➤ Control de la energía reactiva

En las instalaciones con generadores asíncronos, el factor de potencia de la instalación no será inferior a 0,86 a la potencia nominal y para ello, cuando sea necesario, se instalarán las baterías de condensadores precisas.

Las instalaciones anteriores dispondrán de dispositivos de protección adecuados que aseguren la desconexión en un tiempo inferior a 1 segundo cuando se produzca una interrupción en la Red de Distribución Pública.

La empresa distribuidora de energía eléctrica podrá eximir de la compensación del factor de potencia en el caso de que pueda suministrar la energía reactiva.

Los generadores síncronos deberán tener una capacidad de generación de energía reactiva suficiente para mantener el factor de potencia entre 0,8 y 1 en adelanto o retraso. Con objeto de mantener estable la energía reactiva suministrada se instalará un control de la excitación que permita regular la misma.

- **Cables de conexión**

Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 %, para la intensidad nominal.

- **Forma de la onda**

La tensión generada será prácticamente senoidal, con una tasa máxima de armónicos,

en cualquier condición de funcionamiento de:

- Armónicos de orden par: $4/n$
- Armónicos de orden 3: 5
- Armónicos de orden impar (≥ 5): $25/n$

La tasa de armónicos es la relación, en %, entre el valor eficaz del armónico de orden n y el valor eficaz del fundamental.

- **Protecciones**

La máquina motriz y los generadores dispondrán de las protecciones específicas que el fabricante aconseje para reducir los daños como consecuencia de defectos internos o externos a ellos.

Los circuitos de salida de los generadores se dotarán de las protecciones establecidas en las correspondientes ITC que les sean aplicables.

En las instalaciones de generación que puedan estar interconectadas con la Red de Distribución Pública, se dispondrá un conjunto de protecciones que actúen sobre el interruptor de interconexión, situadas en el origen de la instalación interior. Éstas corresponderán a un modelo homologado y deberán estar debidamente verificadas y precintadas por un Laboratorio reconocido.

Las protecciones mínimas a disponer serán las siguientes:

- De sobreintensidad, mediante relés directos agnetotérmicos o solución equivalente.
- De mínima tensión instantáneos, conectados entre las tres fases y neutro y que actuarán, en un tiempo inferior a 0,5 segundos, a partir de que la tensión llegue al 85 % de su valor asignado.
- De sobretensión, conectado entre una fase y neutro, y cuya actuación debe producirse en un tiempo inferior a 0,5 segundos, a partir de que la tensión llegue al 110 % de su valor asignado.
- De máxima y mínima frecuencia, conectado entre fases, y cuya actuación debe producirse cuando la frecuencia sea inferior a 49 Hz o superior a 51 Hz durante más de 5 periodos.

• **Instalaciones de puesta a tierra**

➤ Generalidades

Las centrales de instalaciones generadoras deberán estar provistas de sistemas de puesta a tierra que, en todo momento, aseguren que las tensiones que se puedan presentar

en las masas metálicas de la instalación no superen los valores establecidos en la MIERAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

Los sistemas de puesta a tierra de las centrales de instalaciones generadoras deberán tener las condiciones técnicas adecuadas para que no se produzcan transferencias de defectos a la Red de Distribución Pública ni a las instalaciones privadas, cualquiera que sea su funcionamiento respecto a ésta: aisladas, asistidas o interconectadas.

- Características de la puesta a tierra según el funcionamiento de la instalación generadora respecto a la Red de Distribución Pública
 - Instalaciones generadoras aisladas conectadas a instalaciones receptoras que son alimentadas de forma exclusiva por dichos grupos

La red de tierras de la instalación conectada a la generación será independiente de cualquier otra red de tierras. Se considerará que las redes de tierra son independientes cuando el paso de la corriente máxima de defecto por una de ellas, no provoca en la otra diferencia de tensión, respecto a la tierra de referencia, superiores a 50 V.

En las instalaciones de este tipo se realizará la puesta a tierra del neutro del generador y de las masas de la instalación conforme a uno de los sistemas recogidos en la ITC-BT 08.

Cuando el generador no tenga el neutro accesible, se podrá poner a tierra el sistema mediante un transformador trifásico en estrella, utilizable para otras funciones auxiliares.

En el caso de que trabajen varios generadores en paralelo, se deberá conectar a tierra, en un solo punto, la unión de los neutros de los generadores.

- Instalaciones generadoras asistidas, conectadas a instalaciones receptoras que pueden ser alimentadas, de forma independiente, por dichos grupos o por la red de distribución pública

Cuando la Red de Distribución Pública tenga el neutro puesto a tierra, el esquema de puesta a tierra será el TT y se conectarán las masas de la instalación y receptores a una tierra independiente de la del neutro de la Red de Distribución Pública.

En caso de imposibilidad técnica de realizar una tierra independiente para el neutro del generador, y previa autorización específica del Órgano Competente de la Comunidad Autónoma, se podrá utilizar la misma tierra para el neutro y las masas.

Para alimentar la instalación desde la generación propia en los casos en que se prevea transferencia de carga sin corte, se dispondrá, en el conmutador de interconexión, un polo auxiliar que cuando pase a alimentar la instalación desde la generación propia conecte a tierra el neutro de la generación.

- Instalaciones generadoras interconectadas, conectadas a instalaciones receptoras que pueden ser alimentadas, de forma simultánea o independiente, por dichos grupos o por la red de distribución pública

Cuando la instalación receptora esté acoplada a una Red de Distribución Pública que tenga el neutro puesto a tierra, el esquema de puesta a tierra será el TT y se conectarán las

masas de la instalación y receptores a una tierra independiente de la del neutro de la Red de Distribución pública.

Cuando la instalación receptora no esté acoplada a la Red de Distribución Pública y se alimente de forma exclusiva desde la instalación generadora, existirá en el interruptor automático de interconexión, un polo auxiliar que desconectará el neutro de la Red de Distribución Pública y conectará a tierra el neutro de la generación.

Para la protección de las instalaciones generadoras se establecerá un dispositivo de detección de la corriente que circula por la conexión de los neutros de los generadores al neutro de la Red de Distribución Pública, que desconectará la instalación si se sobrepasa el 50% de la intensidad nominal.

➤ Generadores eólicos

La puesta a tierra de protección de la torre y del equipo en ella montado contra descargas atmosféricas será independiente del resto de las tierras de la instalación.

• Puesta en marcha

Para la puesta en marcha de las instalaciones generadoras asistidas o interconectadas, además de los trámites y gestiones que corresponda realizar, de acuerdo con la legislación vigente ante los Organismos Competentes se deberá presentar el oportuno proyecto a la empresa distribuidora de energía eléctrica de aquellas partes que afecten a las condiciones de acoplamiento y seguridad del suministro eléctrico. Esta podrá verificar, antes de realizar la puesta en servicio, que las instalaciones de interconexión y demás elementos que afecten a la regularidad del suministro están realizadas de acuerdo con los reglamentos en vigor. En caso de desacuerdo se comunicará a los órganos competentes de la Administración, para su resolución.

Este trámite ante la empresa distribuidora de energía eléctrica, no será preciso en las instalaciones generadoras aisladas.

- **Otras disposiciones**

Todas las actuaciones relacionadas con la fijación del punto de conexión, el proyecto, la puesta en marcha y explotación de las instalaciones generadoras seguirán los criterios que establece la legislación en vigor.

La empresa distribuidora de energía eléctrica podrá, cuando detecte riesgo inmediato para las personas, animales y bienes, desconectar las instalaciones generadoras interconectadas, comunicándolo posteriormente, al Órgano competente de la Administración.

4.3. Normativa eléctrica

A bordo de un barco la normativa eléctrica que se ha de cumplir es la que marca la sociedad de clasificación, en este caso la que marca la **Lloyd's Register**, que a su vez son las que marca la IMO (International Maritime organization) y es la que deben seguir todas las administraciones.

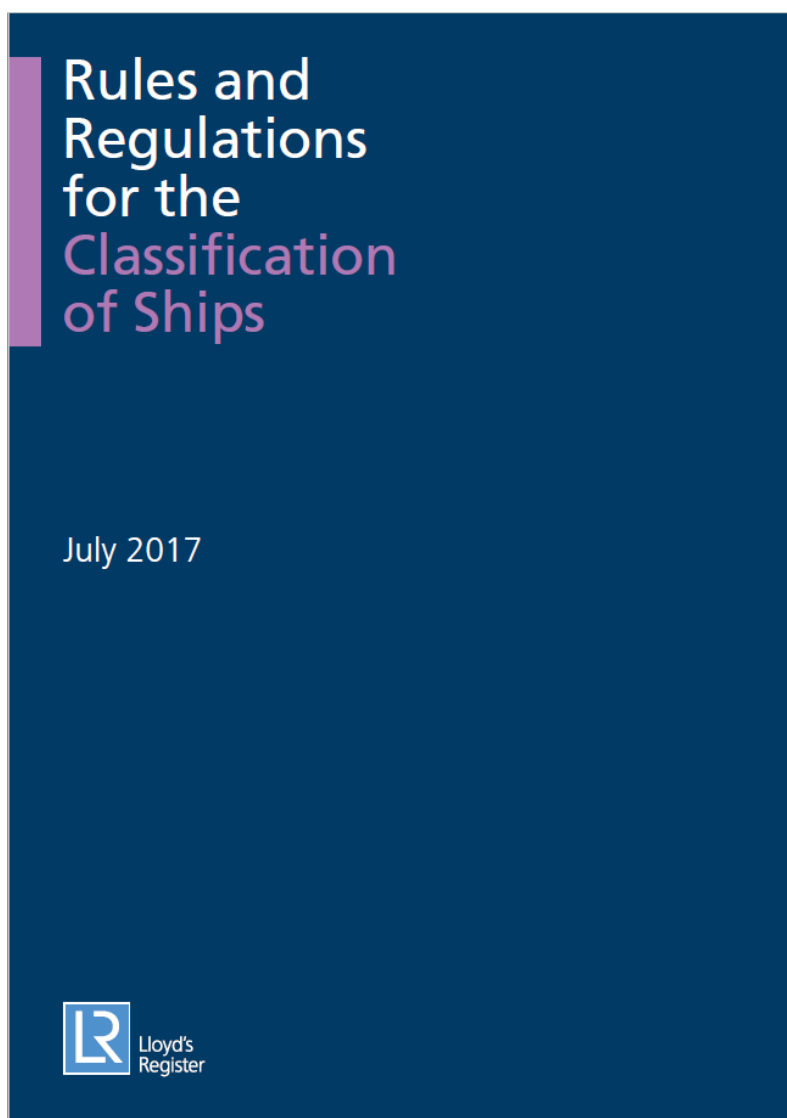


Figura 15 Reglamento Lloyd's

Estas reglas son de descarga gratuita desde la página oficial de Lloyd's.

<http://info.lr.org/e/12702/rl-for-auto-responder-emailurl/3w43kg/704196212/rules-ships-2017>

5. Propuesta

5.1. Teórica

El remolcador actual está equipado como se explica en los apartados anteriores con dos motores opuestos entre si a los cuales va un embrague engranado en la misma línea de ejes, así como una hélice rotativa a través de un shootel marca Aquamaster. A grandes rasgos para empezar a definir el cambio lo que se va a estudiar es la sustitución del equipo de propulsión sin cambiar el tamaño de la hélice. Se hará un estudio de la sustitución de los motores embragues y shootel por otros motores, alternadores y bomba eléctrica que se encargaran tanto de generar, como de girar la hélice en el caso de la bomba. Siempre teniendo en cuenta la duplicidad del barco. Se hará un cálculo de demanda, así como de capacidad para subsanar el gasto en combustible de los motores, el combustible a utilizar, como la demanda eléctrica que tiene el barco y la que quiere suministrar a tierra.

Al tener una gran cubierta sin uso alguno también se estudiará la posibilidad de colocar dos generadores en cubierta para lograr la máxima capacidad posible de creación de electricidad sin que afecte a la estabilidad del barco ni a la maniobra.

Todos estos cambios se intentarán realizar cumpliendo con toda la normativa marítima, buscando una rebaja tanto en el consumo como en la contaminación y siendo factible para su comercialización.

5.2. Modificación de los motores

El barco monta dos motores Caterpillar 3516 B, la idea a realizar en este proyecto ya que se quiere adaptar lo máximo al presupuesto es la de no sustituirlos si no acoplarle un generador que sea suficiente para cubrir la demanda total del buque en navegación y el servicio de estación eléctrica flotante.

Para realizar esto como se comenta en otras partes del proyecto, se extraerá la última parte del eje que conecta la hélice controlable a través de un embrague.

La idea es colocar en este espacio el alternador nuevo, del cual se harán los cálculos más adelante, y cambiar el mando de giro de la hélice de forma mecánica-hidráulica a eléctrica.

Por otra banda al quitar este eje ganamos espacio en el cual se colocarán por cada costado dos auxiliares más iguales a los que ya utiliza el barco de manera que generaremos con los dos motores principales 4 auxiliares Guascor y si es muy grande el exceso de demanda, en la cubierta principal se podrán colocar mediante el pescante/grúa del remolcador dos generadores más mediante anclajes de trincaje.

5.3. Sustitución de embragues y línea de ejes

Como se ha comentado en el apartado anterior al no comandar las hélices mediante el giro del eje principal, los embragues y estas líneas se extraerán dando lugar a más grupos generadores.

Con este cambio ganaremos control sobre las hélices, así como reduciremos el número de averías. Para ello se colocarán dos motores de imanes permanentes que las gobernarán al antojo del piloto y los mandos.

Como la función de remolque y tiro no se quiere perder, y sabiendo que la maquinilla de remolque es comandada por unas bombas linde engranadas a los embragues y al eje principal con su extracción también se deberá modificar la forma de gobierno de la maquinilla. También se sustituirá por un motor de imanes permanentes de imanes permanentes que además al contrario que ahora se podrá regular la velocidad de virada y largado. Con ello eliminaremos el tanque de expansión de aceite, colocado en el centro de la sala de máquinas de la maquinilla, de manera que podremos ampliar el transformador de a bordo.

Estos embragues utilizan un aceite diferente al de los motores principales y auxiliares que, sí que comparten el mismo tipo, de esta manera también eliminamos un tipo de aceite más en el barco haciendo que éste reduzca gastos al comprar solo un tipo de aceite.

Para ver lo que se pretende eliminar lo veremos en la siguiente fotografía.

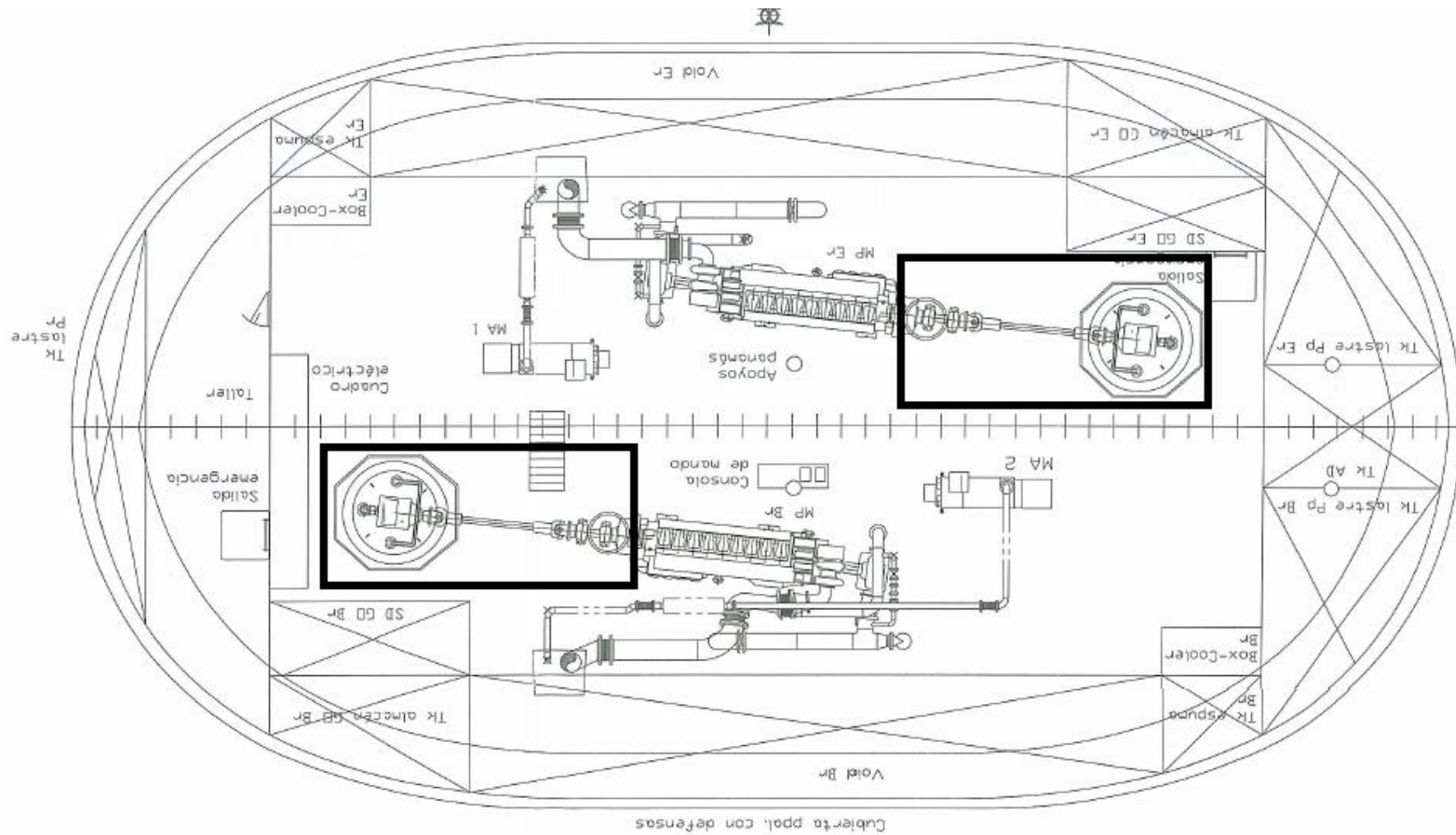


Figura 16 Situación de la modificación

5.4. Sistema eléctrico

Para lograr la transformación completa y a demás conseguir una máxima fiabilidad del trabajo se va a cambiar el embarrado del remolcador o mejor dicho se va a ampliar.

Actualmente es de doble embarrado y se modificará a triple embarrado para lograr una máxima disponibilidad de éste.

Al modificar la generación de electricidad también se modificarán las protecciones, así como el sistema de autómatas.

Aprovechando el cambio y para rebajar el consumo de los sistemas secundarios del buque se cambiará toda la iluminación por led de bajo consumo ya que actualmente no está equipado con esto.



Figura 17 Cuadro eléctrico actual

5.5. Balance energético

A continuación, se puede observar el balance energético actual del barco, el cual se debe cubrir con las modificaciones de manera que se pueda dar suministro eléctrico, realizar operaciones de remolque y abastecer el buque.

Balance energético			
Ítem	Potencia (kW)	Factor de potencia (Phr)	Eficiencia (Kf)
Arrancadores babor			
Bomba de aceite sucio	1	0.74	0.72
Bomba de trasiego de combustible	1.5	0.8	0.77
Bomba de servicios generales nº1	14.5	0.83	0.9
Ventilador cámara de máquinas nº1	7.5	0.83	0.87
Bomba de lubricación azipop babor	2	0.8	0.77
Spare	5	0.8	0.8
Servicios 400V babor			
Transformador de alumbrado nº1	25	0.84	0.91
Bomba de cebado del motor principal de babor	5	0.8	0.8
Cuadro de servicios náuticos 400V	1	0.74	0.72
Compresor llenado de botellas bombero	4.5	0.8	0.8
Pescante bote de rescate	7	0.82	0.86
Cuadro de control válvulas fi-fi	5	0.8	0.8
Rescatador	3	0.8	0.78
Bomba de lubricación twin-disc babor	0.6	0.75	0.69
Reserva nº1	6	0.82	0.86
Reserva nº2	5	0.8	0.8
Arrancador del molinete carral	25	1	1
Precalentador motor principal	5	0.8	0.8
Fuente de alimentación paneles solares	3	0.8	0.76

Reserva nº3	3	0.8	0.78
<u>Generación</u>			
Generador nº1	122	1	1
Generador nº2	122	1	1
<u>Servicios 400V Estribor</u>			
Toma a tierra	40	0.9	1
Transformador de alumbrado nº2	25	1	1
Bomba de cebado del motor	5	0.8	0.8
Depuradora de combustible	1.5	0.8	0.77
Compresor de aire de servicios	1.3	0.83	0.86
Transformador de arranque del motor principal	30	0.84	0.93
Arrancador de la maquinilla carral manual	1	0.74	0.72
Reserva nº1	13	1	1
Reserva nº2	3	0.80	0.78
Bomba de lubricación twin-disc estribor	0.6	0.75	0.69
Precalentador motor principal estribor	5	0.8	0.8
Reserva nº3	8	1	1
Reserva nº4	3	0.8	0.78
<u>Arrancadores Estribor</u>			
Bomba séptica	0.75	0.74	0.72
Bomba de servicios generales nº2	14.5	0.83	0.9
Bomba de achique de lodos	1.5	0.8	0.74
Ventilador cámara de máquinas nº2	7.5	0.83	0.87
Bomba de lubricación azipop estribor	2	0.8	0.77
Spare	5	0.8	0.8
<u>Servicios 230V</u>			
Transformador alumbrado nº1	25	1	1
Transformador alumbrado nº2	25	1	1
Spare	0.2	0.66	1
Spare	0.2	0.66	1
Spare	1	0.74	0.72
Servicios náuticos	3	0.8	1
Sistema de automatización	1	0.74	1
Sapre	1	0.74	1

Cuadro de control aquamaster nº1	1	1	1
Cuadro de control nº2	1	1	1
Vitrocerámica	6	1	1
Horno cocina	4	1	1
Termo agua camarotes	12	1	1
Sapre	1	0.74	0.72
Proyector busca naufragos proa	2	1	1
Proyector busca naufragos popa	2	1	1
Proyectores exteriores	5	1	1
Spare	1	0.74	1
Spare	1	0.74	1
Enchufes cámara de máquinas	2	0.8	1
Spare	2	0.8	1
Enchufes habilitación cubierta principal	2	0.8	1
Enchufes cocina	2	0.8	1
Spare	1	0.74	1
Enchufes puente	2	0.8	1
Cargador de baterías	1.5	0.8	1
Planta séptica	1	0.74	1
Condensador aire acondicionado cubierta principal	2.9	0.8	1
Evaporadores cubierta principal	1	0.74	1
Aire acondicionado cocina	2.3	0.8	1
Aire acondicionado puente	5	1	1
Ventiladores/Extractores	1	0.74	1
Termo de agua de los aseos	12	1	1
Reserva	1	0.74	1
Cargador de baterías	1.5	1	1
Cuadro conmutación de baterías	0.005	1	1
Radar pc mds	0.1	1	1
Back up aquamaster babor	0.3	1	1
Back up aquamaster estribor	0.3	1	1
Panel extinción de incendios FE-13	0.005	1	1
Panel alarma inundación máquinas	0.05	1	1
Control twin-disc babor	0.1	1	1

Control twin-disc estribor	0.1	1	1
Control sistema Fi-Fi	0.5	1	1
Maniobra manual maquinilla carral	1.5	1	1
Luces de emergencia habilitación	0.1	1	1
Luces de emergencia estribor	0.1	1	1
Navegador dgps koden	0.1	1	1
Ais JHS	0.15	1	1
Antena TV	0.1	1	1
Radar kopen MDC	0.15	1	1
Radiotelefono VHF nº1	0.15	1	1
Spare	0.15	1	1
Compás	0.07	1	1
Telégrafo motor babor	0.1	1	1
Telégrafo motor estribor	0.1	1	1
Tifón	0.1	1	1
Luces de navegación y señales 1	0.8	1	1
Spare	0.15	1	1
Comunicaciones interiores	0.1	1	1
Proyectores botes salvavidas	0.3	1	1
Perimetrales floodlights	0.15	1	1
Spare	1.2	1	1
Alimentación principal del motor de babor	0.3	1	1
Alimentación principal del motor de estribor	0.3	1	1
Radiotelefono nº2	0.15	1	1
Sapre	0.15	1	1
Sapre	0.15	1	1
Sapre	0.15	1	1
Sapre	0.15	1	1
Sapre	0.15	1	1
Placas solares	0.75	1	1
Fuente de alimentación	1.5	1	1
Motor principal babor alimentación back up	0.3	1	1
Motor principal estribor alimentación back up	0.3	1	1
Aquamaster emergencia babor	0.1	1	1
Aquamaster emergencia estribor	0.1	1	1
Alumbrado cámara de máquinas nº1	0.3	1	1

Alumbrado cámara de máquinas nº2	0.3	1	1
Alumbrado cámara de máquinas nº3	0.3	1	1
Alumbrado cámara de máquinas nº4	0.3	1	1
Alumbrado exterior perimetral	0.3	1	1
Alumbrado acomodación 1	0.3	1	1
Alumbrado acomodación 2	0.3	1	1
Alumbrado puente	0.3	1	1
Alumbrado remolque	0.3	1	1
Spare	0.3	1	1
Spare	0.3	1	1
Spare	0.2	1	1
Spare	0.2	1	1
Alimentación de MSB	3	0.8	1
Spare	0.2	0.66	1
Spare	0.35	0.73	1
Cargador de baterías del sistema GMDSS	1	0.74	1
Ordenador de equipos náuticos	0.7	0.75	1
Tomas de cargadores VHF portátiles	0.5	0.72	1
Spare	1	0.74	1
Limpiaparabrisas	1	0.74	1
Luces de navegación y señales nº2	0.8	0.74	1
Twin-disc 18Vac control babor	0.2	0.66	1
Twin-disc 18Vac control estribor	0.2	0.66	1
Spare	1	0.74	1
Luces rojas puente	1	0.74	1
Spare	1	0.74	1
Anemometer	1	0.74	1
Sonda de navegación	1	0.74	1
Equipamiento náutico	1	0.74	1
Gyroscópica	1	0.74	1
Konsberg	1	0.74	1
<u>Servicios 400V</u>			
Alimentación MSB	1	0.74	0.72
Cuadro de control aquamaster Babor	0.2	0.66	1
Cuadro de control aquamaster Estribor	0.2	0.66	1
Cuadro control Fi-Fi	0.2	0.66	1
Spare	0.2	0.66	1
Spare	0.2	0.66	1

Total	624	/	/

5.6. Práctica

5.6.1. Alternadores

Los alternadores seleccionados para realizar la modificación a la máquina y así lograr el objetivo de no perder la opción de remolque, pero conseguir dar electricidad suficiente.

Aprovechando que el tipo de motor que monta el barco de estudio, Caterpillar 3516-B, es un motor muy versátil ya que la misma casa con pocas modificaciones lo utiliza en la industria marina, así como para la generación de electricidad y para la industria terrestre en varias excavadoras gigantes, lo único que se hará es adaptar el motor ya existente a su variante industrial de generación de electricidad. Con el siguiente alternador:

Ítem	Especificación	
Marca	Caterpillar	
Tipo	1647	
Excitación	Imanes permanentes	
Paso	0.6667	
Polos	4	
Cojinetes	Simples	
Conductores	6	
Aislamiento	Clase H	
Ratio IP	IP23	
Velocidad nominal	1500 rpm	
Capacidad de sobre velocidad	150 %	
Curva de desviación	2%	
Regulador de voltaje	3 fases con detención sensible de voltios/Hz	
Regulación de voltaje	Estado estable menos de $\pm \frac{1}{2}\%$	
	Sin carga hasta plena carga menos de $\pm 1\%$	
Distorsión armónica total (THD)	Menos del 5%	
Grupo generador a 400V, 50Hz, y factor de potencia de 0.8	Prmie	Standby
	2000kVA	2250kVA
	1600kW	1800kW



Figura 18 Nuevo generador

Para la colocación se estirará la bancada del motor evitando así desviamientos del eje.

5.6.2. Nuevos generadores en cubierta

Con el fin de poder generar lo máximo posible tanto para el remolque como para el servicio de electricidad, se van a colocar dos generadores más en cubierta sin impedir el movimiento del cabo. De esta manera y aprovechando que la casa Caterpillar nos ofrece el mismo motor que lleva el barco acoplado a un alternador y a su vez cerrado, impidiendo así que sufra con condiciones meteorológicas adversas, se procederá a colocar dos (Caterpillar 3516B-2250) en la cubierta de manera que incrementaremos 13,26 toneladas por banda.

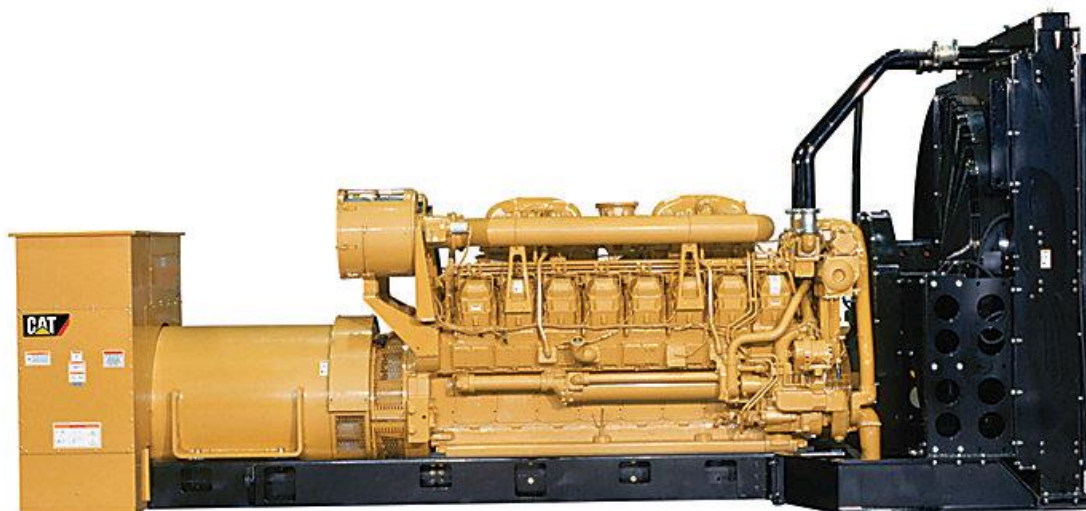


Figura 19 Nuevos grupos generadores

Al ser un barco totalmente simétrico, con esta modificación se buscará que la colocación de estos dos grupos generadores sea en la misma posición a ambos costados de la cubierta de manera que la estabilidad del buque se vea afectada lo más mínimo o directamente no afecte, intentando mantener el centro de gravedad.

Con tal de poder hacer una buena colocación y que la cubierta no sufra se reforzará, a su vez también se realizarán todos los pasamamparos para el sistema de tuberías de combustible.

En la siguiente imagen podemos ver la colocación de los nuevos grupos.

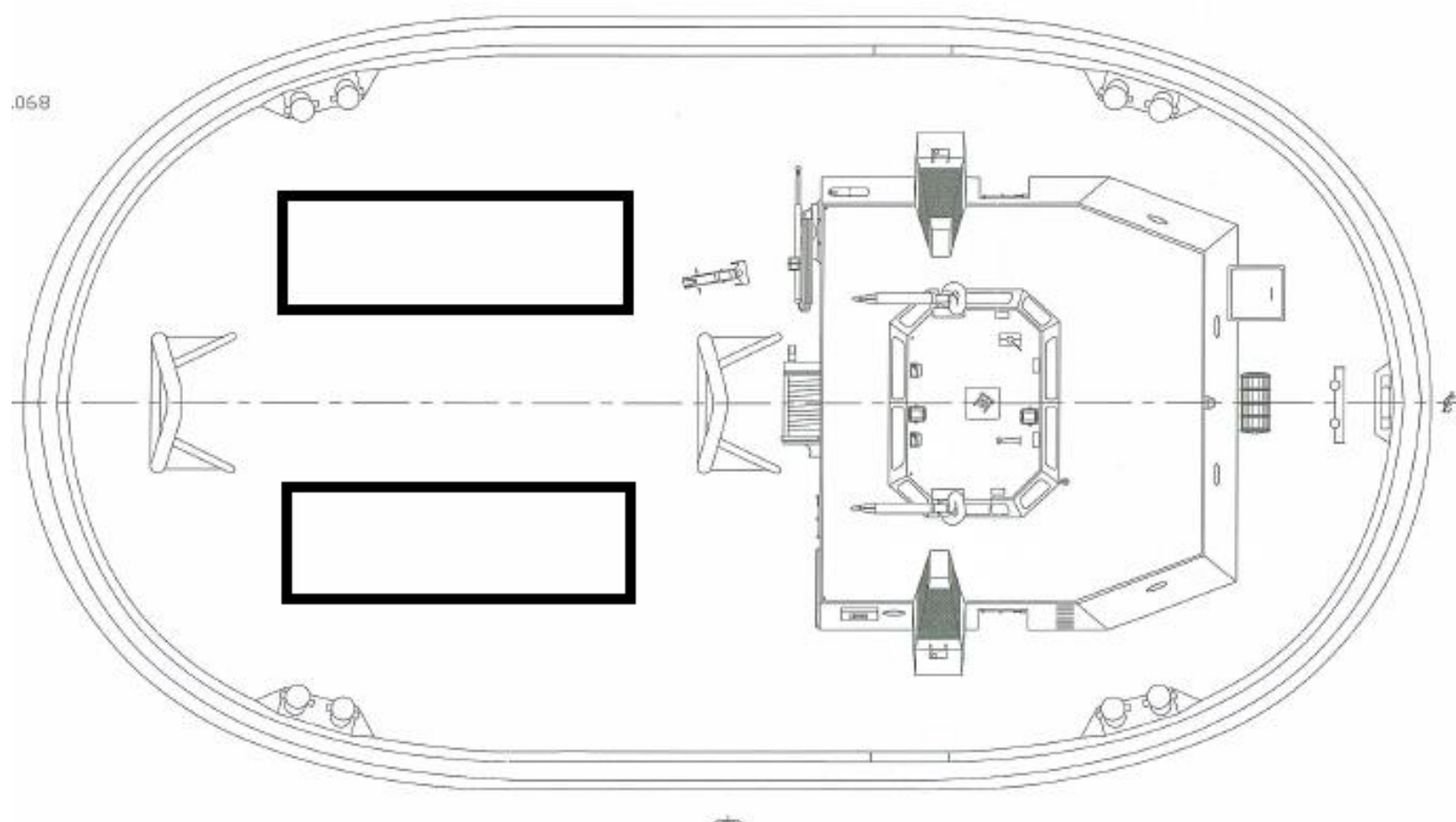


Figura 20 Situación de los nuevos generadores en cubierta

5.6.3. Combustible

El consumo de los motores principales variará debido a que pasaran a trabajar en un régimen permanente de 1500 rpm para conseguir una generación perfecta.

Este hecho hará que el consumo se estabilice a los siguientes parámetros:

Consumo (l/h)	
Carga (%)	Principal
100	412.2
75	311.4
50	218.0

Para aprovechar al máximo el barco y no tener que realizar excesivas modificaciones se mantendrá el combustible utilizado hasta el momento, Gasoil. De manera que se mantendrán los 68 m³ de capacidad en los tanques con un abastecimiento a los cuatro motores en plena carga de:

$$\text{Consumo por hora de los cuatro motores} = 4 * 412.2 = 1648.8 \frac{l}{h}$$

$$\text{Capacidad del barco a plena carga} = \frac{68000 l}{1648.8 \frac{l}{h}} = 41.24 h$$

Esto sería si solo contabilizásemos los motores Caterpillar generadores, pero como el barco también está equipado con dos generadores mas pequeños normalmente con solo uno en funcionamiento para abastecer los servicios del buque hay que contabilizar que estos también consumen, poco, pero consumen así que haciendo una aproximación lo más exacta posible, a plena carga y con el consumo de servicios del barco:

40.00 h de autonomía a plena carga del barco

Después del cálculo total de los nuevos equipos se valorará si se coloca a proa del buque en cubierta un nuevo tanque o simplemente se utiliza la capacidad que tiene hasta ahora.

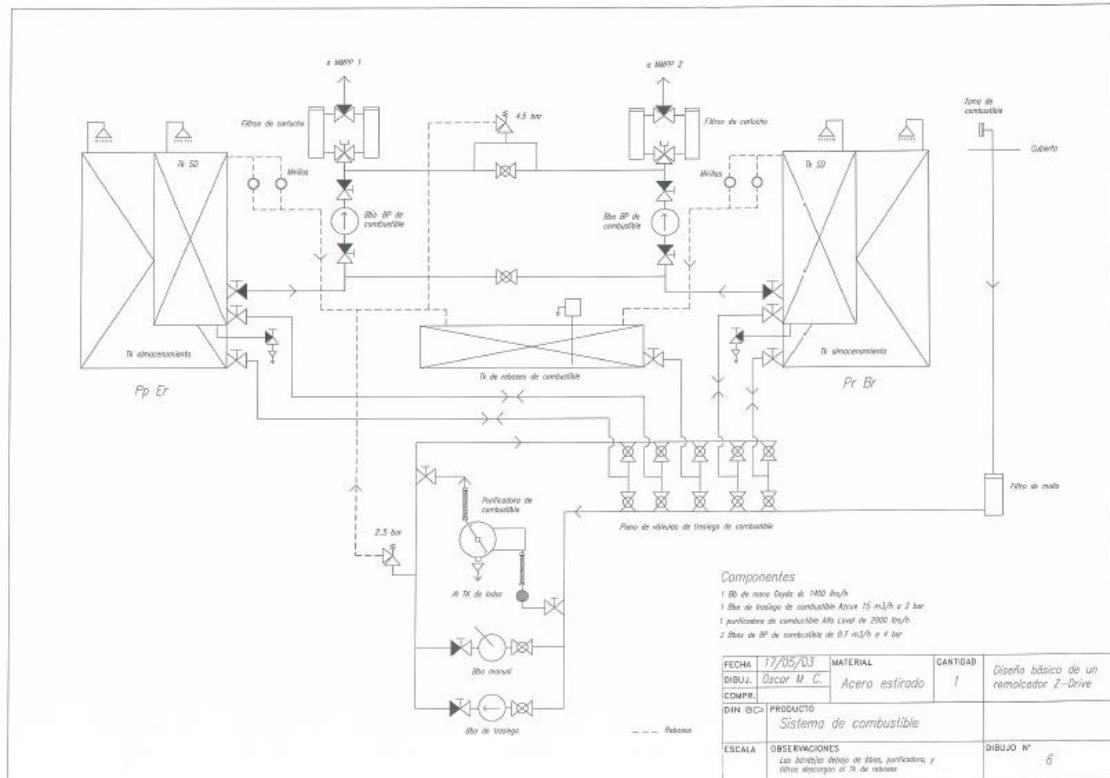


Figura 21 Siestema de combustible

Este es el sistema actual habría que incrementar el sistema de tubería a los nuevos generadores.

5.6.4. Transformador

Transformador de la empresa "MIMAVEN ELECTRICA S.A.".



Características eléctricas	
Modelo	E013053
Número de identificación	92912001
Tensión de Alimentación	3X400 V
Frecuencia	50/60HZ
Intensidad de entrada	50 A
Tensión de utilización	0-24+4% Vcc
Intensidad máxima permanente	1250 A
Conexión	III
Refrigeración	Aire
Grado de protección	IP-23

Una vez generada electricidad o recibida directamente de tierra se envía a este transformador donde a través de sus dos bobinados, transforma la tensión a 24V y a partir del puente de diodos con el que va equipado se rectifica la señal a corriente continua. De aquí la corriente es enviada a los motores principales para su arranque.

Esquema del circuito del transformador, donde vemos que la fase se triplica para poder aguantar la gran subida de intensidad.



Figura 22 Transformador para los sistemas de a bordo

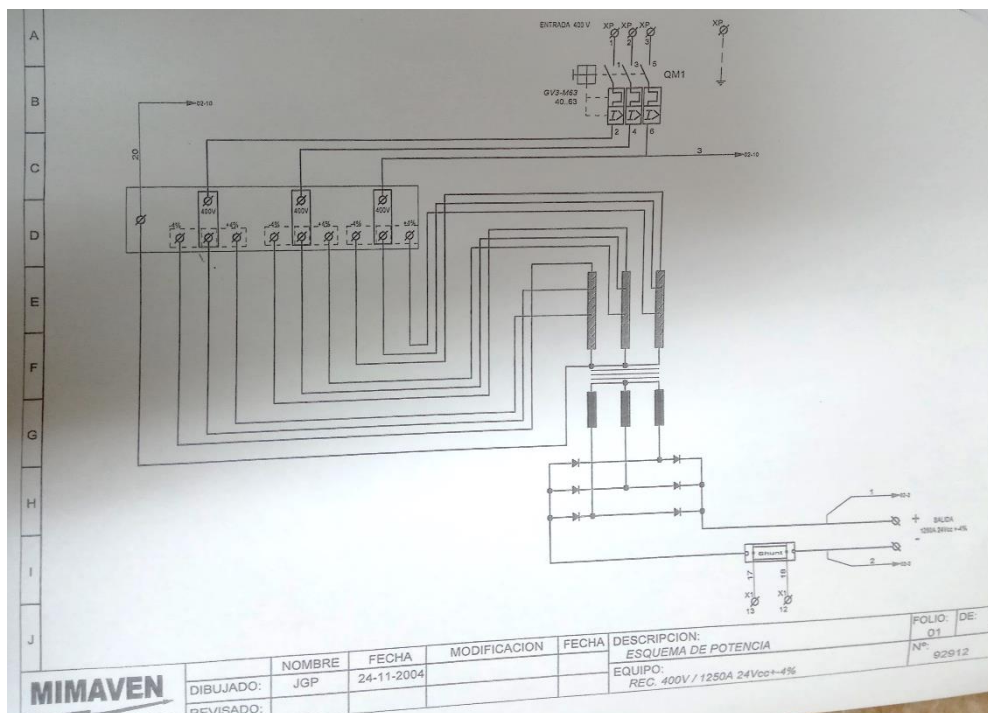


Figura 23 Esquema del transformador

5.6.5. Motores eléctricos para las hélices y modificación del cuadro eléctrico

Al eliminar los ejes, los embragues y las azipops hidráulicas, estamos obligados a colocar algún mecanismo que haga girar las hélices y que aparte nos permita su control. Para ello utilizaremos motores eléctricos.

Al transformar los motores y pasarlos a utilizar como generadores eliminando así la propulsión mecánica y sabiendo que los auxiliares de a bordo no son suficientes para alimentar la nueva forma de mover y comandar las hélices, la generación de electricidad de los motores principales solo se destinará cuando el barco realice acciones de remolque a el movimiento de las hélices. Para ello y con el fin de modificar lo más mínimo el barco utilizaremos un nuevo embarrado, del cual también se conectarán los motores generadores de cubierta, aunque estos en remolque no se utilizarán.

En cuanto a los cuadros de sincronismo y control, se utilizarán los ya existentes modificándolos para los cuatro generadores nuevos, al tener espacio suficiente, se procederá a poner las respectivas protecciones y los comandos necesarios. La situación actual está a proa de la sala de máquinas.

Sabiendo que los motores cuando trabajan actualmente como máximo llegan 1600 rpm y que según la siguiente tabla el máximo par que da el motor es a 1400 rpm con 8391 N*m, a este par la máxima potencia de salida en el eje es de 1230 kW, sabemos que es el máximo que necesitamos para dimensionar el motor eléctrico que mueva la hélice.

Engine speed (rpm)	Engine Power (kW)	Torque (N*m)
1800	1492	7914
1700	1443	8106
1600	1384	8259
1500	1313	8358
1400	1230	8391
1300	1137	8353

Al tener 1230 kW de potencia de salida a máximo par debemos buscar un motor que permita dar esta potencia para las hélices. El encontrado y que colocaremos es un motor de la marca abb que suple las características que necesitamos, que permite la colocación vertical es el siguiente:



Figura 24 Motor Eléctrico

Ítem	Dato
Modelo	NXR 500MP4
Velocidad máxima	1491 rpm
Tensión	3000 V
Frecuencia	50 Hz
Intensidad nominal	340 A
Par	9609 N*m
Peso del motor	7070 kg
Potencia	1500 kW

Colocaremos este motor en lugar del aquamaster que nos permitirá darle el giro a la hélice con la versatilidad que nos da al poder colocarlo tanto vertical como horizontal.

Al hablar de un barco asimétrico colocaremos dos, uno por cada hélice de manera que el balance energético nos incrementará 3000 kW, 1500 por banda, potencia que nuestros nuevos alternadores suplirán sin problema al solo estar destinados en el caso de trabajar en remolque para estos motores.

Ejemplo de donde se colocarán los motores eléctricos.

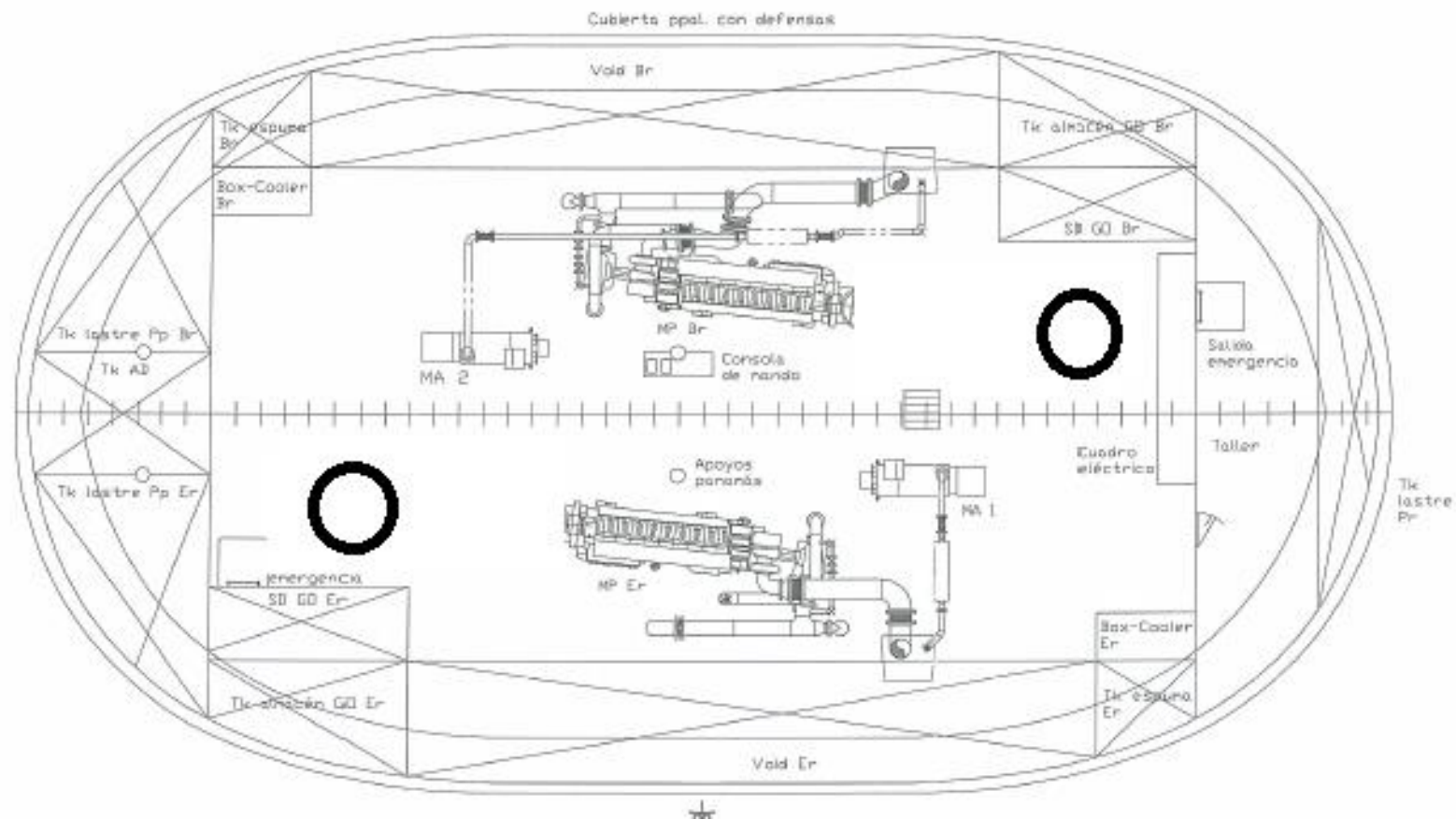


Figura 25 Situación de los motores eléctricos

5.6.6. Estación de bombeo

Al eliminar los embragues para la colocación de los nuevos generadores, eliminamos las bombas que utilizamos para enviar presión a las planetarias que tenemos en cubierta para mover la maquinilla de remolque y para mover las planetarias que le dan a las hélices el giro sobre si mismas de 360°.

Lo que realizaremos es colocar justo al lado del tanque de aceite destinado al trabajo de estos grupos de planetarias, para optimizar aún más el espacio una estación de bombeo que trabajará sin necesidad de estar engranada con los embragues debido a que estos ya no estarán.

De manera que tendremos dos bombas con sus respectivos motores eléctricos que nos suplirán estos servicios y conseguiremos que el buque sea totalmente eficaz en sus dos funciones de trabajo.

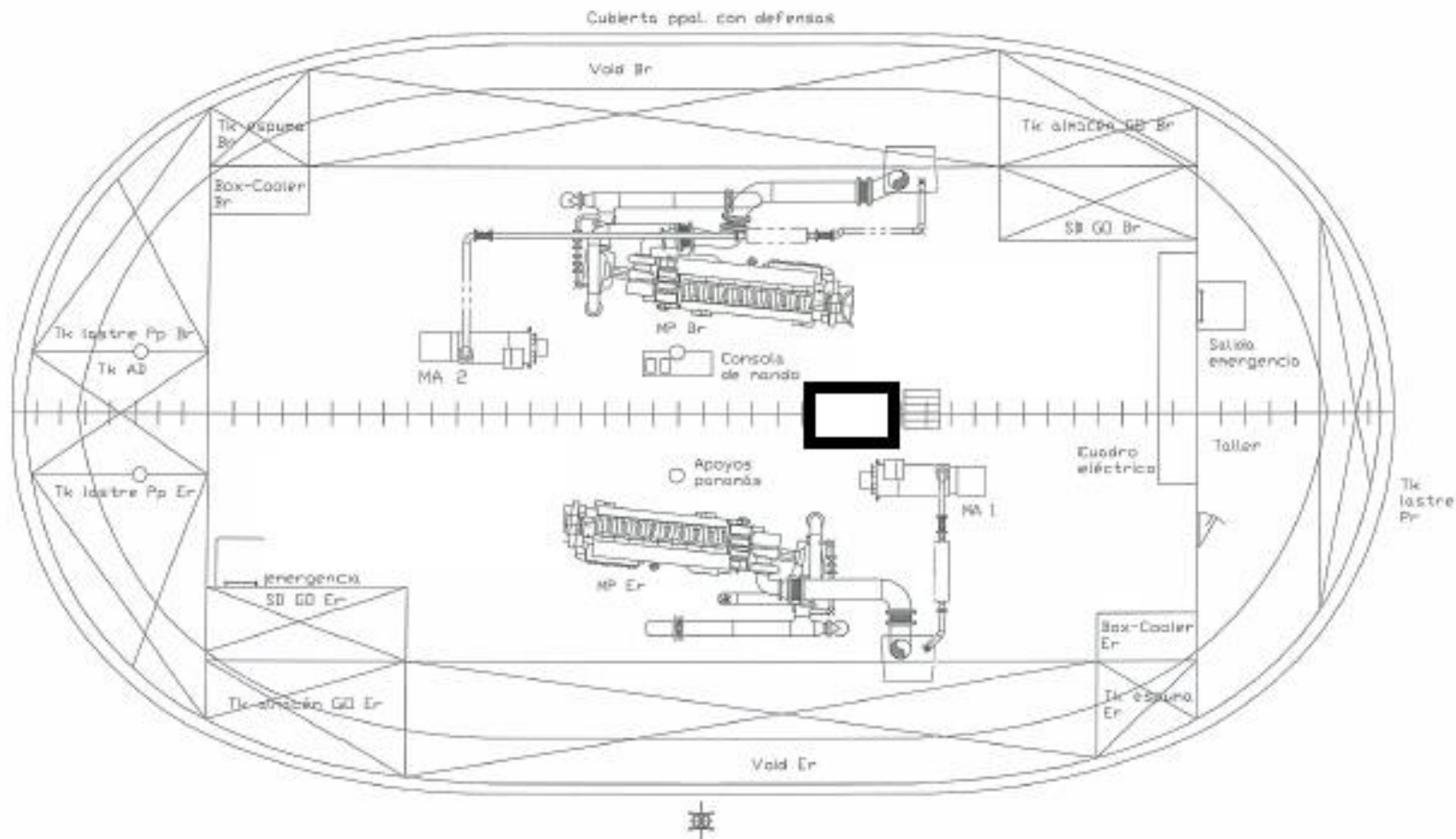


Figura 26 Situación de la estación de bombeo

5.6.7. Conexión a tierra

El último gran problema a solucionar, es el de la conexión a tierra. Siempre siguiendo las prescripciones de la normativa, se va a nutrir al barco con una conexión común al embarrado para la colocación de bridas eléctricas (enchufe), de manera que tanto cuando esté amarrado en puerto como cuando esté utilizando el posicionamiento dinámico se pueda conectar el cableado tanto submarino como a nivel de tierra.





6. Conclusiones

Después de realizar este trabajo puedo sacar varias conclusiones sobre la generación de electricidad a bordo, modificación de buques y viabilidad al cambio.

Al realizar la transformación hemos conseguido suplir todas funciones del barco sin hacer grandes cambios. Pese al gran problema que existe en el sector marítimo a evolucionar y querer encontrar nuevas soluciones tanto a la contaminación como al cambio de barcos a la electricidad, pese a que muchos de ellos ya van muy encaminados. Con ésta conseguimos aportar a tierra 7200 kW a 50 Hz, 400 V con un factor de potencia de 0,8, con los cuatro generadores trabajando al máximo. Como el objetivo era que a parte de ser un grupo electrógeno móvil pudiera seguir realizando sus funciones de remolque se han colocado motores eléctricos que suplen el par de tiro y que se autoalimentan solo con dos generadores de los cuatro y que normalmente se utilizarán los de la sala de máquinas. El gasto de la transformación no es excesivo y la empresa puede darle una nueva función al barco sobre todo sabiendo las restricciones de años de algunos puertos que impiden trabajar en ellos, como en el puerto de Barcelona que un remolcador no puede trabajar más de 15 años.



7. Biografía

Modificación de buques→

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-21432&tn=1&p=20141018#tii> (15/11/2017)

Caterpillar→ <https://www.cat.com/es ES.html> (20/10/2017)

Abb→ <http://new.abb.com/es> (10/12/2017)

Bombas hidráulicas→ <http://www.linde-mh.es/linde/content?id=370> (18/11/2017)

Lloyd's→ <https://www.lr.org/en/> (18/01/2018)

Grupo electrógeno→

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>
(25/01/2018)

Se he utilizado para consultar y extraer información los manuales de a bordo, los cuales no se me ha permitido por confidencialidad exponer ningún tipo de dato referente a estos.

